

文章编号: 1674-7054(2016)02-0211-04

基于 CFD 的树高与风速风压关系的模拟

邱育毅^{1,2}, 陶忠良²

(1. 海南大学 环境与植物保护学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院 橡胶研究所/
农业部儋州热带作物科学观测实验站, 海南 儋州 571700)

摘要: 为了解树高与风害的关系, 基于 CFD 的模拟思路, 以橡胶树为模拟对象, 利用 GAMBIT, FLUENT, CFD-POST 3 个软件, 模拟不同树高下与风速、风压的关系。结果表明, 树高与风速、风压成正相关关系; 树高每增加 3 m, 风速平均增加 7.7%, 风压平均增加 15.8%。

关键词: CFD; 树高; 风速; 风压

中图分类号: P 435 **文献标志码:** A **DOI:** 10.15886/j.cnki.rdswwb.2016.02.012

台风是我国东南沿海地区最主要的农业自然灾害之一^[1], 引起风害的 2 个主要物理指标为风速与风压, 风速产生风压, 风压导致树木摇晃, 引发折断。以乔木为例, 树高是影响风害程度的重要因子, 与风速、风压这 2 个主要风害因素密切相关。目前, 对树高影响风害的影响研究大多采用实地调查和统计分析相结合的方式, 一般在台风后进行调查^[2]。调查不仅需耗费大量人力与物力, 而且容易与往年风害情况混淆, 因此, 在不断变化的气候条件下, 需要新的方法来研究风害。近年来, 计算流体动力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 在各领域受到的关注越来越多, 李磊等^[3]利用 CFD 对用于复杂地形风场的精细模拟研究, 唐朝圣^[4]、周军莉等^[5-6]利用 CFD 进行防风林防护效应的模拟, 李莉等^[7]用 CFD 模型对不同风向条件下的流场进行计算。邓书辉等^[8]利用 CFD 模拟低屋面横向通风牛舍的空气流场。杨丽^[9]利用 CFD 模拟居住区内的风环境。黄远东等^[10]在对 CFD 在水处理反应研究进行总结归纳。于艳等^[11]讨论了 CFD 膜技术与膜生物反应器领域中的研究和发展。笔者以风害典型的橡胶树为模拟对象, 利用商业 CFD 软件 FLUENT 模拟其树高、疏透度与风速、风压的关系流场, 了解树高与风害的关系。

1 实验方法

FLUENT 软件专门用来进行流场计算、流场分析和流场预测, 通过建立模型, 设定参数, 快速模拟出理想的结果, 同时不受环境与气象制约, 具有成本低、周期短等优点。利用 CFD 软件进行的模拟工作, 需要依次进行前处理建模、数值模拟和后处理成图 3 个步骤。

1.1 前处理建模 利用 GAMBIT 软件建立模型, 它包含全面的几何建模能力, 可以在 GAMBIT 内直接建立点、线、面、体几何等模型。根据橡胶树的生长特性以及一般最早封行高度及参考资料^[12], 分别建立 7, 10, 13, 16 和 19 m 高度的模型。本研究为单因子模拟, 除高度外其他条件都一样。

图 1 为 13 m 模型。为了保证整个模拟区域的充分流动, 第 1 棵树前设置为 5 倍树高 (水平方向), 自第 1 棵树后设置为 15 倍树高 (水平方向), 高度设置为 5 倍树高 (竖直方向), 正常情况下, 气流在 5 倍树高以上受到树林的影响不大。由于模拟的是稳态系统, 所以将第 1 棵树高设置成半树冠状。建模后以网

收稿日期: 2015-12-08

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金“国家天然橡胶产业技术体系建设”项目 (No. CARS-34-GW5)

作者简介: 邱育毅 (1990-), 男, 海南大学环境与植物保护学院 2013 级硕士研究生, E-mail: 117558101@qq.com

通信作者: 陶忠良 (1968-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事农业气象、灾害、生态的研究工作, E-mail: taozhly@126.com

格划分,如图 1 所示。网格划分的基本原则:在主要影响区域内,网格要密集。为了保证网格的质量,笔者采用非结构网格,即没有规则的拓扑结构,分布无限制性,因此灵活性较强。随后设置边界,以最左边为入口,最右边为出口,树边设置为内部边界,树体内部设置为流体区域。

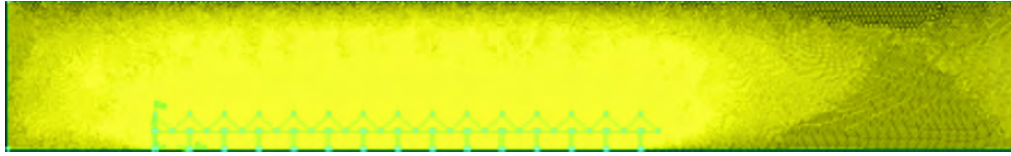


图 1 13 m 树高网格划分

Fig. 1 Meshing of 13 m height of rubber trees

1.2 数值模拟 基于 ANSYS 软件中的 FLUENT 模块,利用 FLUENT 软件模拟整个流场。基本设定条件为:二维低速不可压缩流动。在实际应用中,通常认为马赫 < 0.2 为低速流动,由于笔者求解的为稳态系统,气体设置为不可压缩的理想气体,而低速不可压缩流动,通常适用于压力基求解器。湍流模型的设定采用雷诺平均 NS 模型中的 $k-\epsilon$ 模型^[3]。区域设定,设置树体为多孔介质区域,利用多孔介质功能代替橡胶树的疏透度,笔者设定为 0.3 平均疏透度。边界设定:入口设定为速度入口,由于入口处的风速、湍动能和湍流消耗率随高度而变化,唐朝圣^[13]利用自定义函数满足入口处的风速对数轮廓线^[14]以及湍动能^[5]和湍流耗散率^[15];出口设定为压力出口。算法设定,仅改变二阶迎风至一阶迎风格式,其他保持软件默认设置。

受风影响时,第 1 行树受力最大。笔者以第 1 行树的风速和风压作为依据,设定第 1 行树风速最大值为 V 。由于设定入口风速满足风速对数规律,故入口风速非固定值,根据气象部门预报规则(中国国家标准风力等级),设入口处离地面 10 m 处速度为初始速度 V_0 ;同理,设定第 1 行树受到的最大风压为 P ,设入口处离地面 10 m 处风压为初始风压 P_0 。考虑到来风时风速的不确定性,故采用相对风速作为研究标准。考虑到现实中疏透度会随着季节的变化而变化,尤其以冬季落叶较明显,为了探讨不同疏透度下树高与风速和风压关系的变化规律,笔者设置了 0.1、0.6 和 0.8 共 3 种疏透度进行比较,其中 0.1 疏透度与 0.8 疏透度为极限疏透度。

1.3 后处理成图 主要借助 CFD-POST 进行数据的后处理。

2 结果与分析

2.1 树高与风速的关系 树高与风速之间的模拟结果见图 2。图 2 中趋势线呈现线性变化, R^2 大于 0.99,拟合度较高。最大相对风速 0.925 9 出现在 19 m 的高度,最小相对风速 0.689 3 出现在 7 m 高度,最大相对风速与最小相对风速差值为 0.236 6。分析其原因,笔者认为,主要是因为风在地面流动时,风速并不是一个固定值,它是随着高度的增加而增加^[4];当风遇到阻挡时,向上流动的风会对原来上方的风形成助推作用,而树越高,助推的力越大,风速越大。相对风速平均值为 0.808 8,平均增速为 0.161 8。

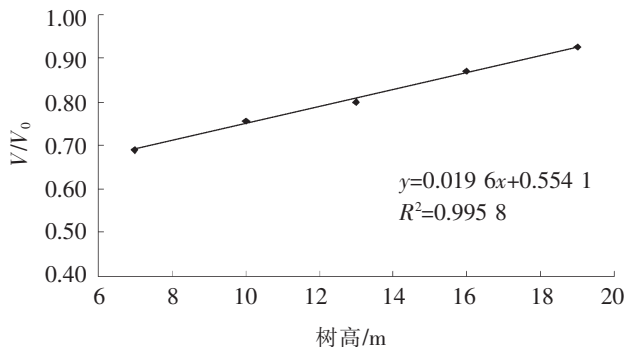


图 2 树高与风速的关系

Fig. 2 Relation between tree height and wind velocity

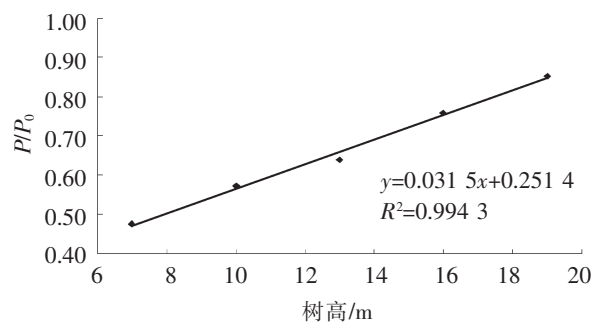


图 3 树高与风压的关系

Fig. 3 Relation between tree height and wind pressure

2.2 树高与风压的关系 树高与风压之间的模拟结果见图3 图3中趋势线呈现为线性变化 R^2 大于0.99, 拟合度较高。最大相对风压0.853 7出现在19 m的高度, 最小相对风压0.475 1出现在7 m高度, 最大相对风压与最小相对风压差值为0.378 6。分析其原因, 笔者认为, 风压和风速密切相关, 两者表现规律一致符合物理现象, 同时风压大小与风速平方成正比, 所以风压的变化大于风速的变化。相对风压平均值为0.660 3, 平均增速为0.132。

2.3 不同疏透度下树高与风速风压的关系

2.3.1 不同疏透度下树高与风速的关系 从图4可以看出, 在不同疏透度下, 树木高度越高, 风速越大, 且都是线性变化规律, 而0.1 0.3 0.6 0.8 4个疏透度趋势方程 R^2 分别为0.993 3, 0.995 8, 0.998 1, 0.998 8 R^2 均大于0.99, 拟合度较高。值得注意的是, 在0.6疏透度时19 m的树高的相对风速和0.8疏透度时16 m和19 m的树高的相对风速均大于1。

2.3.2 不同疏透度下树高与风压的关系模拟 从图5中可以看出, 在不同疏透度下, 风压其表现规律与0.3疏透度表现规律一样, 呈现树木高度越高, 风压越大, 且都是线性的变化规律, 而0.1 0.3 0.6 0.8这4个疏透度趋势方程 R^2 分别为0.991 4 0.994 3 0.993 9 0.991 0 R^2 均大于0.99, 拟合度较高。从图5中还可以看出, 风压的斜率明显大于风速的斜率。值得注意的是, 在0.6疏透度时19 m的树高的相对风压和0.8疏透度时16 m和19 m的树高的相对风压均大于1。

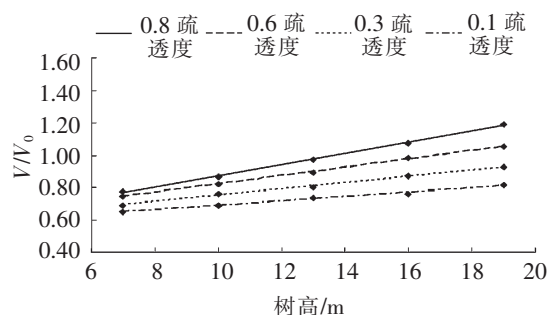


图4 不同疏透度下树高与风速的关系

Fig.4 Relation between the tree height of different tree densities and the wind velocity

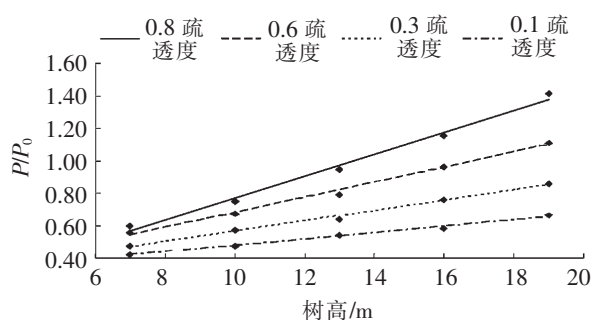


图5 不同疏透度下树高与风压的关系

Fig.5 Relation between the tree height of different tree densities and the wind velocity

3 讨论

(1) 由于橡胶树在现实中生长变化多样, 所以笔者主要以单因子变化进行研究, 除树高外, 其他设定不变, 部分参数为平时观测结果, 可能会与现实中稍有差异。

(2) 笔者利用二维模型进行模拟, 首先是简化模型, 当台风影响时往往存在主方向, 即大部分风影响橡胶园时方向基本一样, 这就为橡胶园简化提供了可能。其次是模拟橡胶园属于大尺度模拟, 所需的计算量较大, 如果做成三维模型, 考虑到整个橡胶园所需网格数量极大, 树体本身也是较复杂的模型, 这样所需要的计算机的配置将非常高, 同时计算量将成几何倍增加, 这也是大多数 CFD 工作中简化模型的重要原因。由于不具备实测条件, 笔者主要从数值模拟角度进行理论研究。

4 结论

(1) 树高与风速风压的线性关系显著, 树高每增加3 m, 风速平均增加7.7%, 风压平均增速为15.8%, 风压的增速大于风速的增速。(2) 一般情况下, 第1行树可以起到防风作用。试验结果表明, 7 m树高的风速最大值仅为入口速度的68.93%, 风压为47.51%; 19 m树高风速最大值为入口速度的92.59%, 风压为85.57%。(3) 在极限情况下, 如19 m的树高在0.8疏透度下, 风速和风压大于入口速度, 这是由于气象预报时一般以离地面10 m高处风速为预报标准(中国国家标准风力等级), 但是风沿地面流动时, 垂直方向并不是唯一值, 而是呈对数变化增加。(4) 综上所述, 树木长得越高, 对风害的抵御越不利, 因而在橡

胶树抗风栽培管理中,矮化是降低胶园风害的有效途径之一。

致谢:唐朝胜老师在百忙中对本文进行指导,特此致谢。

参考文献:

- [1] 吴慧. 影响海南的热带气旋气候特征及其 ENSO 的关系 [J]. 气象, 2005, 31(12): 61–64.
- [2] 翁荣川. 橡胶树修枝截冠矮化加预防应用的思考 [C]// 海南省热带作物学会 2006 年学术交流会论文集, 2006.
- [3] 李磊, 张立杰, 张宁, 等. FLUENT 在复杂地形风场精细模拟中的应用研究 [J]. 高原气象, 2010, 29(3): 621–628.
- [4] 唐朝胜. 海南橡胶防护林防风效果数值模拟研究 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
- [5] 周军莉, 王元, 徐忠. 不同类型林带防护效应的数值模拟 [J]. 中国沙漠, 2002, 6(2): 201–204.
- [6] 周军莉. 林带防护效应的数值模拟研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2001.
- [7] 李莉, 刘永前, 杨勇平, 等. 基于 CFD 流场预计算的短期风速预测方法 [J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(7): 27–32.
- [8] 邓书辉, 施正香, 李保明, 等. 低屋面横向通风牛舍空气流场 CFD 模拟 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(6): 139–146.
- [9] 李莉. 居住区风环境分析中的 CFD 技术应用研究 [J]. 建筑学报, 2010(增刊): 5–9.
- [10] 黄远东, 顾静, 赵树夫, 等. CFD 在水处理反应器研究中的应用进展 [J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(6): 11–15.
- [11] 于艳, 樊耀波, 徐国良, 等. 计算流体力学在膜技术及膜生物反应器研究中的应用 [J]. 膜技术与科学, 2011, 31(1): 105–112.
- [12] 罗良才. 橡胶树木材的性质和用途 [J]. 西部林业科学, 1985(2): 48–49.
- [13] 唐朝圣. 海南橡胶林风力地形分配特征数值模拟 [D]. 海口: 海南大学, 2008.
- [14] 吕美仲, 彭永清. 动力气象学教程 [M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [15] 朱鸿梅. 疏透型林带防护效应的实验研究及数值模拟 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 1999.

A CFD-based Simulation of the Relationship between Tree Height and Wind Velocity and Pressure

QIU Yuyi^{1,2}, TAO Zhongliang²

(1. College of Environmental and Plant Protection, Hainan University, Haikou 570228; 2. China Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences Danzhou Investigation & Experiment Station of Tropical Crops, Ministry of Agriculture, Danzhou, Hainan 571700, China)

Abstract: Typhoon is a frequent natural disaster attacking rubber plantations in Hainan, China. In order to understand the relationship between tree height and wind damages to rubber trees three softwares, GAMBIT, ANSYS (FLUENT) and CFD-POST, were used to simulate and analyze the varying relationships between wind velocity and wind pressure with the rubber tree height as a basis. The result showed that the rubber tree was positively correlated with wind velocity and wind pressure. For each 3 m increase in tree height the wind velocity and the wind pressure increased by 7.7% and 15.8%.

Keywords: computational fluent dynamics; tree height; wind velocity; wind pressure